Constitution d'un système d'information à référence spatiale dans le contexte de la Directive cadre européenne sur l'eau

Hervé Pella, André Chandesris et Jean-Gabriel Wasson

À partir de l'exploitation de données biologiques représentatives de la qualité écologique des cours d'eau et de données sur l'occupation des sols, les auteurs expliquent dans cet article comment il est possible de développer un système d'information géographique destiné à la détermination typologique des cours d'eau. L'objectif de cette détermination s'inscrit dans le projet de régionalisation des écosystèmes aquatiques en « hydro-écorégions », pour répondre à l'objectif principal de « bonne qualité écologique » des cours d'eau de la Directive cadre européenne sur l'eau.

La Directive cadre européenne sur l'eau (DCE) pose clairement le principe d'une évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques par la mesure d'un écart à des conditions de référence, principalement sur la base de bioindicateurs. La première étape de sa mise en œuvre, en ce qui concerne les eaux de surface continentales, passe donc par l'établissement d'une typologie permettant la définition des conditions de référence biologiques, mais aussi hydromorphologiques et physicochimiques.

L'article intitulé « Typologie des eaux courantes pour la Directive cadre européenne sur l'eau : l'approche par hydro-écorégions » (Wasson *et al.*, 2004) revient sur les objectifs de la typologie, expose le cadre conceptuel des hydro-écorégions (HER) ainsi que les principes méthodologiques qui ont conduit à leur délimitation et traite la question de leur validation biologique.

Le présent article est complémentaire de celui cité précédemment puisqu'il aborde l'aspect géomatique de cette étude. Nous présentons tout d'abord la mise en place du système d'information géographique (SIG) en réponse aux objectifs de la DCE. Ensuite, nous évoquons le traitement et l'analyse des informations géographiques pour la délimitation des HER. Enfin, un exemple d'utilisation des données pour caractériser les pressions anthropiques est exposé.

Constitution du SIG

Données géographiques à l'origine du SIG

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont essentiellement des couches d'informations géographiques acquises par le Cemagref ou mises à disposition pour les besoins de l'étude par l'IFEN[1] dans le cadre de la convention entre le Cemagref et le ministère de l'Écologie et du Développement durable. Celles-ci sont détaillées dans le tableau 1 (page 12).

1. Institut français de l'environnement.

Mise en place du SIG

Un SIG à l'échelle nationale a été créé au sein du laboratoire pour répondre aux objectifs de régionalisation et pour caractériser le milieu naturel et les pressions qui s'y exercent. L'élaboration de cette plate-forme SIG nous a demandé un travail important de collecte, de validation, de mise en cohérence et d'archivage des données. Cette base de données géographiques est composée d'informations « brutes » (pluviométrie, altitude…) et d'informations « dérivées » (densité de drainage, pente…) calculées par analyse spatiale.

Ainsi, par exemple, le modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 250 m de l'Institut géographique national (IGN) au format raster est l'information de base pour le calcul des couches suivantes : les pentes, le modèle numérique

Les contacts

Cemagref, UR Biologie des écosystèmes aquatiques, 3 bis quai Chauveau, CP 220, 69366 Lyon Cedex 09

Ingénieries N° 40 – p. 11 à 20
Décembre 2004

2. Bureau des recherches géologiques et minières.

Données	Sources	Propriété
Géologie	Banque de données de la Carte géologique au 1/1 000 000e (6e édition), BRGM[2], 1996	Convention IFEN
Relief	Modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 250 m dérivé de la BDALTI® de l'IGN	Convention IFEN
Climat	Météo France Carte des moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1961-1990 calculées par la méthode AURHELY ; maille 5 x 5 km	Convention IFEN
Climat	Météo France Carte des moyennes mensuelles des températures maximales et minimales pour la période 1961-1990 ; maille 1 x 1 km. Carte des précipitations sur 24 h sur une période de retour de dix ans ; maille 1 x 1 km	Aquisition Cemagref
Végétation	Carte des régions phyto-écologiques de Dupias et Rey (1985)	
Réseau hydrographique	©BD CARTHAGE V 3.0 dérivée de la ®BDCARTO de l'IGN	Aquisition Cemagref

▲ Tableau 1 – Données géographiques (Ces données ont été exploitées avec les logiciels Arcview® et Arcinfo®).

modifié pour l'écoulement, le plan de la direction d'écoulement, le plan des surfaces amont drainées, la pente des vallées, le relief « ombré » et le réseau hydrographique théorique.

3. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

Cette base compte une cinquantaine de couches, ce qui représente près de 10 giga-octets. Les données sont organisées par thèmes : géologie, morphologie, hydrologie, climatologie, limites administratives, occupation du sol, pressions polluantes et régionalisation. Elle sert de support effectif à tous les travaux de recherche multisites du laboratoire (mise en relation de la biologie, de la physique et de la chimie des cours d'eau à différentes échelles). Elle est utilisée plus largement dans le cadre de la « zone atelier bassin du Rhône » (ZABR).

Catalogage

Les couches d'informations géographiques qui constituent la plate-forme SIG étant de provenances diverses, il est important d'archiver les métadonnées. Ces dernières se définissent par un ensemble structuré d'informations décrivant une ressource. L'objectif principal de ce catalogage est de pouvoir consulter facilement toutes les informations relatives à une couche, comme par exemple l'origine, l'échelle, la précision du tracé, etc. Après quelques recherches sur les outils existants permettant de formaliser, stocker et interroger ces métadonnées, nous avons choisi l'outil développé par le pôle géomatique du CERTU[3]. Conforme à la norme PR ENV 12657 relative aux métadonnées des informations localisées, le logiciel Reports V2 permet la constitution et la maintenance de catalogues de données géographiques. Celui-ci est doté de moyens d'importation et d'exportation de métadonnées. Les formats de celles-ci sont publics, afin de permettre à d'autres logiciels d'échanger selon ce format.

Le catalogue précise pour chacune des couches les informations relatives à leur production, à leur mode d'acquisition, à leur qualité et enfin à leur référencement. La partie production renseigne sur l'organisme qui est à l'origine de la donnée, son rôle, la personne contact au sein de l'organisme ainsi que sur l'utilisation potentielle qui peut en être faite et les documents de référence. La propriété intellectuelle et les restrictions d'utilisation sont aussi précisées. La partie mode d'acquisition détaille le cadre dans lequel le laboratoire détient les données, qu'il s'agisse d'un achat, d'une convention dans le cadre d'une étude (en précisant la date finale de la convention au-delà de laquelle les données doivent être supprimées) ou d'une simple mise

à disposition. La partie qualité liste les gammes d'échelles d'utilisation, la précision du tracé, la date de validité des informations ainsi que leur fréquence de mise à jour. Enfin, le référencement précise le système de positionnement et l'emprise géographique.

Coûts et accès aux utilisateurs

Outre le coût des bases qui ont été acquises dans le cadre de cette étude (principalement auprès de l'IGN et de Météo France), le temps de travail important pour valider et mettre en cohérence ces données entraîne un coût supplémentaire. Ce SIG est mis à jour régulièrement ; l'acquisition du MNT[4] 50 m issu de la BD Alti®[5] constituerait une évolution importante pour des travaux futurs. Cette plate forme SIG est actuellement un outil de recherche qui peut être ouvert à des projets du même type. Sa mise à disposition à d'autres utilisateurs en dehors du domaine de la recherche serait du ressort d'un organisme public dépendant du ministère de l'Écologie et du Développement durable ayant une vocation de diffusion de l'information. Dans un tel cadre, le transfert de cet outil est envisageable sous réserve d'une gestion des copyright appropriée.

Détermination des hydro-écorégions

Principes méthodologiques

La démarche est basée sur une approche *descendante* dont le principe de base consiste à utiliser pour la classification les facteurs de contrôle globaux plutôt que leurs conséquences au niveau local. À l'échelle du bassin versant, les déterminants primaires universellement reconnus du fonctionnement écologique des cours d'eau sont la géologie, le relief et le climat (Wasson *et al.*, 2004 ; Wasson *et al.*, 2002). Des couches d'information spatialement homogènes portant sur les structures géophysiques et climatiques sont utilisées au moyen d'un SIG. Les HER sont délimitées visuellement en recherchant les discontinuités des différents facteurs.

Les données géographiques utilisées

Les données utilisées visent à décrire spatialement deux grands ensembles de facteurs : d'une part, la structure physique des bassins et d'autre part, le climat qui s'exerce sur ces bassins, en tant que déterminant aussi bien de la quantité et de la variabilité des écoulements que de la température.

• **La structure** physique des bassins est appréhendée à partir :

– de la *géologie* qui intervient au travers des caractéristiques lithologiques : résistance à l'érosion, perméabilité, propriétés chimiques des eaux qui en découlent ;

– du *relief* décrit par l'altitude, mais aussi de la *géomorphologie* : pentes des terrains, pentes des vallées, formes du relief ;

– de *l'hydrographie* : la structure et l'organisation du réseau de drainage donnent des informations complémentaires aux données géologiques (perméabilité, drainage phréatique).

• **Le climat** est appréhendé par :

– le régime des *précipitations* : annuelles, saisonnières, écart saisonnier et maximum décennal sur 24 heures qui permet de caractériser les régimes hydrologiques à crues violentes;

– les *températures* maximales ;

– les types de *végétation* naturelle (potentielle) ou les étages bioclimatiques qui intègrent des informations sur les bilans hydriques et thermiques ;

– des informations complémentaires, notamment sur les surplus ou déficits hydriques, les glaciers…

Autres documents utilisés

L'utilisation de couches d'informations géographiques en format numérique a été complétée par le recours aux cartes, notamment :

– l'Atlas des eaux souterraines de la France (Margat, 1970) ;

– les cartes géomorphologiques de la France, coord. F. Joly, GIP Reclus[6], 1988, 1987, 1992, 1993 (collection Reclus Mode d'Emploi de 1988 à 1993) ;

– la carte des surplus et déficits hydrologiques de la France, Trzpit, 1984 (scannée et géoréférencée) ;

– des cartes de la végétation de la France au 1/200 000e (CNRS), notamment pour le bassin du Rhône ;

– la carte des glaciers (Rogers et Wasson, 1997);

– les cartes topographiques, touristiques, routières éditées par l'IGN.

4. Modèle numérique de terrain.

5. Produit édité par l'Institut géographique national.

6. Groupement d'intérêt collectif « Réseau d'études des changements dans les localisations et les unités spatiales », Montpellier.

Le traitement des données géographiques

Structure physique

Altitude : l'information du MNT 250 m a été utilisée après regroupement en classes d'altitudes.

Pente : une carte des pentes à l'échelle nationale, réalisée à partir du MNT 250 m a également été utilisée.

Relief « ombré » (hillshade) : ce mode de transformation des données du MNT permet de visualiser les formes du relief et d'identifier les discontinuités existantes entre zones de morphologie différentes.

Pente des vallées : à partir du MNT, un réseau de drainage théorique a été reconstitué. Les pentes des tronçons ont été calculées sur ce réseau. Le résultat permet de visualiser à grande échelle les valeurs dominantes de pentes de vallées et facilite ainsi le contrôle de la discrimination opérée à partir des informations de relief utilisées ci-dessus.

Géologie : les cartes existantes à l'échelle de la France métropolitaine constituent avant tout une description stratigraphique et structurale du sous-sol. Elles ne renseignent pas directement la nature des roches et ne sont donc pas immédiatement exploitables pour une spatialisation des caractéristiques des bassins versants.

Nature des roches (lithologie) : plusieurs sources de données complémentaires ont été utilisées pour rendre compte de l'influence de la lithologie sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. La carte géologique (Bonnefoy *et al.*, 1996) du BRGM au 1/1 000 000[e] (sixième édition) a fait l'objet d'une analyse et d'un classement des polygones en fonction de la nature des roches identifiées à partir de documents cartographiques à plus grande échelle et des synthèses nationales du BRGM. La classification simple, élaborée spécifiquement pour cette étude, a pour objectif de décrire l'influence de la géologie sur le fonctionnement

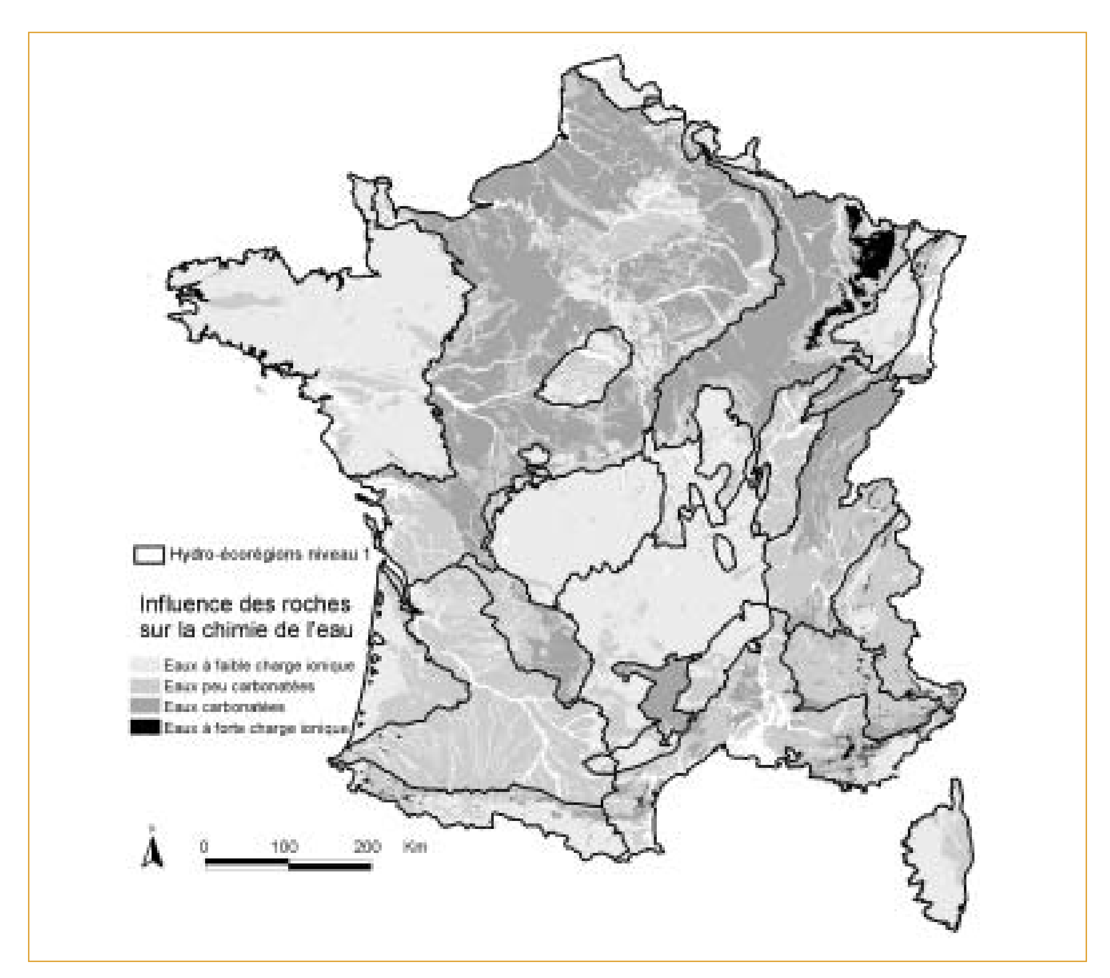


Figure 1 – Influence des roches sur la chimie de l'eau. Données dérivées et interprétées à partir de la carte géologique BRGM au 1/1 000 000[e], 6[e] édition.

des cours d'eau (résistance à l'érosion, perméabilité, propriétés chimiques des eaux – figure 1).

Cartes géomorphologiques : ces cartes au 1/1 000 000e en quatre parties, éditées par le GIP Reclus sous la direction de Fernand JOLY, individualisent des unités différenciées par leur style topographique et secondairement par leur altitude ou leur matériel. Elles constituent un complément très utile et très efficace pour corriger les imperfections inhérentes à la carte lithologique élaborée dans le cadre de ce travail.

Densité du réseau hydrographique : la BD Carthage® – acronyme de Base de Données de Cartographie Thématique des Agences de l'Eau – constitue le référentiel spatial commun à l'ensemble des organismes publics en charge de missions liées à la gestion de l'eau. Elle a été constituée à partir des fichiers numériques de la BD CARTO® de l'IGN saisis à l'échelle du 1/50 000e .

L'examen de la carte du réseau, issue directement de la BD Carthage®, apporte un éclairage et un complément d'information quant à la nature des formations lithologiques, en particulier lorsque des formations superficielles mal renseignées sur les cartes géologiques viennent modifier la perméabilité des roches sous-jacentes. Un calcul de la densité de drainage (en km/km^2) par maille carrée de 2,5 km a permis d'éditer une carte rendant l'information « densité du réseau hydrographique » plus directement lisible (figure 2).

Données climatiques

Précipitations annuelles moyennes : cette carte résulte du cumul sur l'année des moyennes mensuelles de précipitations (période 1961-1990).

Précipitations saisonnières : les valeurs mensuelles ont été cumulées par saison en groupant décembre, janvier, février pour l'hiver, mars, avril, mai pour le printemps, etc.

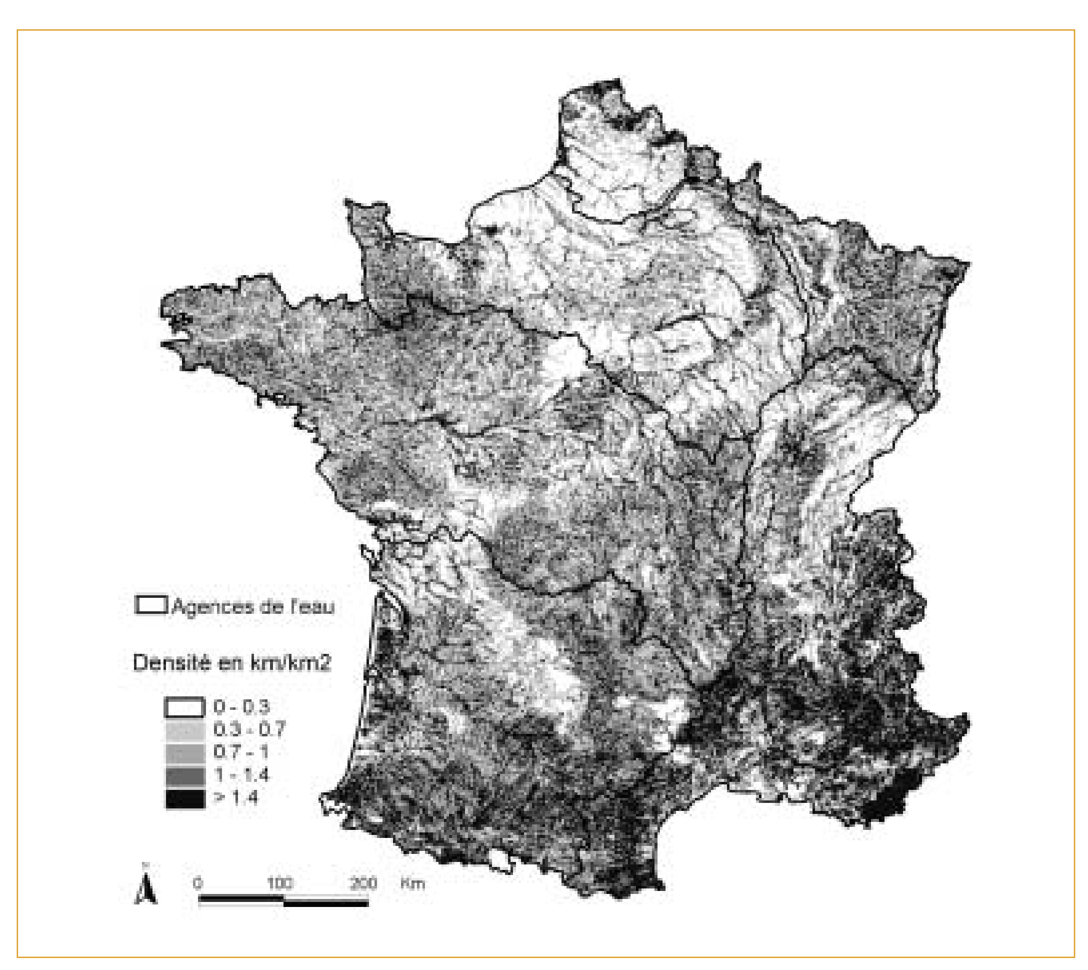


Figure 2 – Densité de drainage calculée à partir de la BD Carthage® sur une grille (maille carrée de 2,5 km). France continentale.

Cartes de saisonnalité : trois cartes exprimant les saisons de précipitations dominantes et minimales ainsi que l'écart de précipitation entre saison, ont été dérivées des précédentes. Ces cartes se sont avérées pertinentes pour identifier les tendances de continentalité et surtout délimiter la région méditerranéenne au sens climatique.

Carte des régions phytoécologiques de Dupias et Rey (CNRS, 1980) : cette carte, basée sur la distribution des associations phyto-écologiques naturelles, découpe le territoire national en zones de quatre niveaux hiérarchiques différents. Les deux premiers niveaux expriment les grandes structures géologiques et climatiques à travers le filtre de la végétation terrestre. Cette carte a été utilisée comme base de travail et a permis la validation de certains paramètres, avec toutefois une ré-interprétation approfondie pour une régionalisation des milieux aquatiques.

Analyse des pressions

Cette analyse consiste à évaluer le degré d'anthropisation des cours d'eau de façon cohérente et homogène à l'échelle du territoire national, dans un double objectif : d'une part, mettre en évidence les zones les moins anthropisées pour sélectionner des sites de référence et d'autre part, élaborer des modèles « pressions/impacts » reliant l'altération des peuplements aquatiques aux activités anthropiques (rejets polluants, agriculture, occupation du sol...). Le couplage entre les données biologiques observées sur des stations ponctuelles et les pressions s'exerçant sur les bassins et sur l'environnement immédiat des stations (corridor rivulaire) a nécessité des développements informatiques spécifiques (langage objet) sous SIG.

Données utilisées

Données biologiques : l'indice biologique global normalisé (IBGN) basé sur les invertébrés benthiques est la méthode la plus largement utilisée en France pour évaluer la qualité écologique des rivières. Une base de données sur les stations IBGN suivies par les DIREN[7] est en cours de développement au sein du laboratoire. Actuellement, plus de 3 500 stations sont répertoriées et géoréférencées. Un travail similaire a été réalisé sur les diatomées (832 stations).

Occupation du sol : la couche d'information géographique utilisée est CORINE[8] Land Cover (CLC). Elle couvre l'ensemble du territoire et repose sur une nomenclature standard hiérarchisée à 3 niveaux et 44 postes répartis selon 5 grands types d'occupation du territoire (territoires artificialisés, territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels, zones humides et surfaces en eau). La période d'acquisition des images satellitales LANDSAT et SPOT qui ont servi à l'établissement de cette couche va de 1987 à 1994.

Pour caractériser les pressions sur le milieu aquatique, des typologies simplifiées pour les postes d'occupation du sol sont réalisées préalablement au traitement.

Ainsi, les 44 postes initiaux ont été reclassés en huit catégories :

1 – Territoire artificialisé dense (regroupant les types CLC 111, 12 et 13) ;

2 – Territoire artificialisé discontinu (regroupant les types CLC 112 et 14) ;

3 – Agricole intensif (regroupant les types CLC 21, 22, 241 et 242) ;

4 – Agricole à faible impact (regroupant les types CLC 231, 243 et 244) ;

5 – Forêts (regroupant les types CLC 31) ;

6 – Pelouses, landes et friches (regroupant les types CLC 32) ;

7 – Espaces ouverts (regroupant les types CLC 33) ;

8 – Zones humides (regroupant les types CLC 4 et 5).

Exemple de traitement

Bassin versant de la station

Compte tenu du nombre de stations ponctuelles sur lesquelles nous avons des données biologiques observées, nous avons développé un outil spécifique de calcul de bassin versant. Cet outil est basé sur l'analyse du modèle numérique de terrain dérivé de la BDALTI® de l'IGN au pas de 250 m, sur le découpage en zones hydrographiques et enfin sur le tracé du réseau hydrographique de la BD Carthage® V 3.0.

Une fois la station raccrochée géographiquement sur le tracé du cours d'eau auquel elle appartient, le traitement consiste à découper le modèle numérique de terrain en fonction de la zone amont probable à partir des zones hydrographiques puis à déterminer son bassin versant (figure 3).

7. Direction régionale de l'Environnement.

8. CORINE : Co-ORdination of INformation on the Environment.

Étant donné que ce calcul de bassin versant est basé sur le MNT de l'IGN au pas de 250 m, la surface minimale de détection est de quelques kilomètres carrés. En zone de relief peu marqué, cette démarche est impossible.

Corridor rivulaire de la station

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

– le tronçon étudié mesure environ 3 km de long, soit 1,5 km à l'amont et à l'aval de chaque station considérée ;

– la largeur de la zone à prendre en compte de part et d'autre du cours d'eau dépend tout naturellement de la largeur du lit mineur. Des travaux dans le bassin de la Loire (Souchon *et al.*, 2000) ont montré la possibilité d'extrapoler les largeurs moyennes des cours d'eau à partir des rangs de Strahler. La largeur de la zone prise en compte est donc fonction du rang (100 m pour les cours d'eau de rang 1, 2 et 3, 140 m pour ceux de rang 4, 250 m pour ceux de rang 5, 600 m pour ceux de rang 6, 1 200 m pour ceux de rang 7 et enfin 2 400 m pour ceux de rang 8).

Seuls les arcs de même rang sont retenus pour le calcul de la zone tampon. Il est donc possible, lorsque la station est proche d'une confluence qui change le rang en aval, de ne considérer que la portion du cours d'eau de même rang que celle sur laquelle est située la station. Le calcul du type d'occupation du sol est exprimé en pourcentage. Ce traitement a été automatisé par l'écriture d'un script en langage Avenue sous ArcView 3.2. Un exemple de résultat est présenté figure 4, (*p. 18*).

Étant donné que l'échelle de travail de Corine Land Cover est le 1/100 000e, l'analyse présentée est en limite d'utilisation. Ce traitement permet d'approcher l'occupation dominante du fond de vallée. L'analyse de la ripisylve ou de l'artificialisation des berges nécessiterait d'utiliser une source de donnée plus précise (Perez-Correa, 2004).

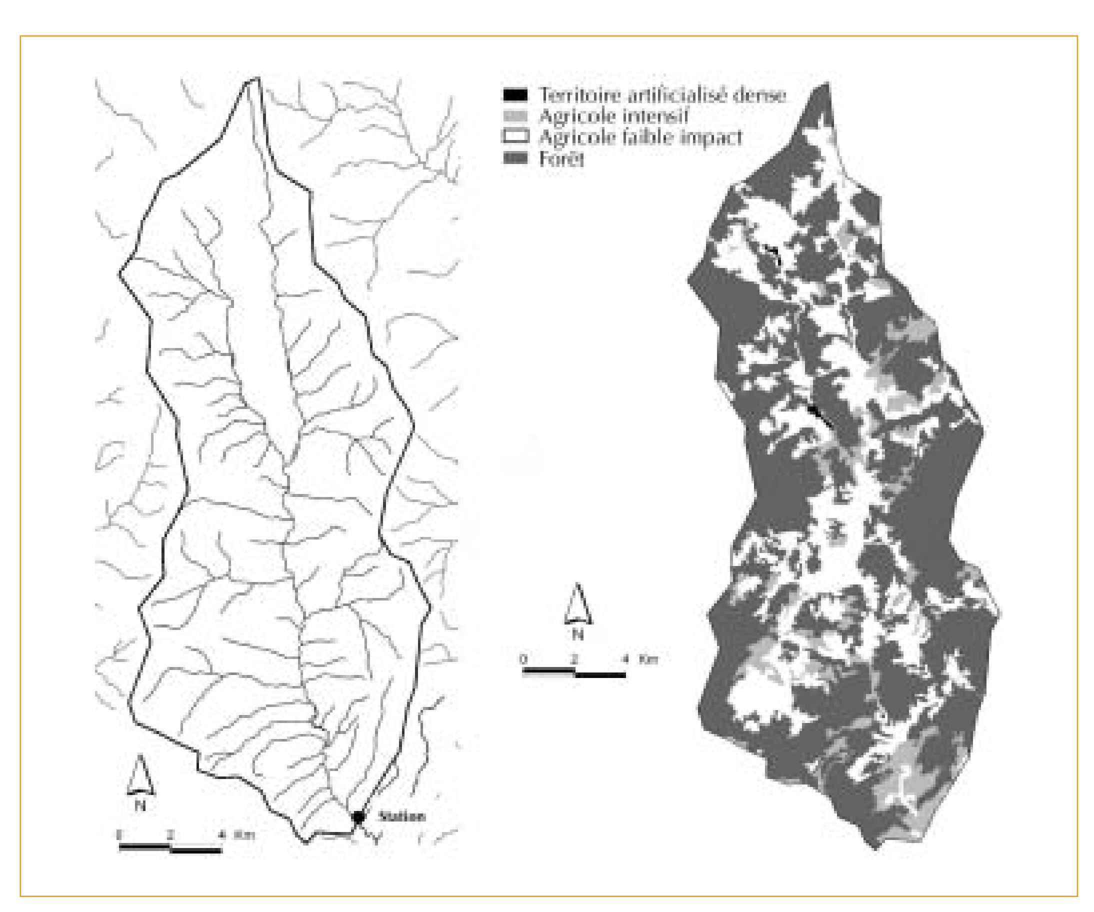


Figure 3 – Bassin versant calculé à partir de la station et pressions anthropiques dérivées de l'analyse de CORINE Land Cover.

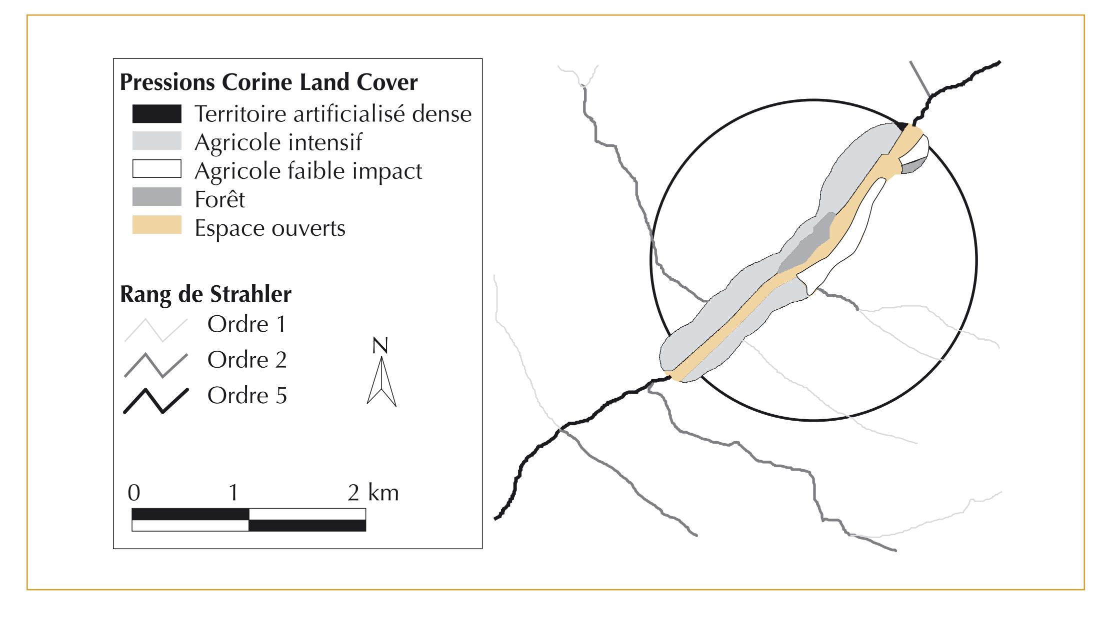


Figure 4 – Exemple de calcul des pressions anthropiques dérivées de l'analyse de Corine Land Cover à l'échelle du corridor rivulaire d'une station.

Conclusion

Les travaux du laboratoire sur les bassins versants de la Loire et du Rhône initiés dans les années 90 avaient déjà nécessité le développement des systèmes d'informations géographiques. Pour répondre aux objectifs de la Directive cadre, le recours aux mêmes systèmes s'est donc fait dans la continuité des travaux antérieurs.

La constitution de la plate-forme SIG à l'échelle nationale telle qu'elle est partiellement présentée dans ce document a demandé un long et important travail de collecte, de mise en cohérence et de traitement des données géographiques.

Cette base de donnée géographique nous permet de faire le lien entre les stations biologiques, les caractéristiques naturelles et les pressions anthropiques s'exerçant sur les bassins versants et les corridors rivulaires pour caractériser la typologie de chaque station et développer des modèles pressions-impacts.

Des développements en cours, nécessitant le recours à des données plus précises (MNT…), permettront de déterminer les caractéristiques physiques des tronçons de manière à permettre une extrapolation spatiale des modèles d'habitat poisson développés au sein du laboratoire (Lamouroux et Capra, 2002). ❒

Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien financier du ministère de l'Écologie et du Développement durable (MEDD – Direction de l'Eau). Il s'inscrit dans le programme de la Zone atelier bassin du Rhône (ZABR). Nous remercions Béatrice Dutang du GIE VALOREZ pour son aide à la préparation du manuscrit. Nous remercions également Nicolas Mengin du GIE VALOREZ pour son travail sur les stations IBGN.

Résumé

Pour répondre à l'objectif principal de « bonne qualité écologique » des cours d'eau de la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE), un projet de régionalisation des écosystèmes aquatiques a été initié. La détermination des hydro-écorégions (HER), qui constituent le cadre adopté pour la typologie des cours d'eau, a nécessité la mise en place d'un système d'information géographique (SIG) dédié. Cet article présente la création du SIG, l'analyse des informations géographiques pour délimiter les HER et un exemple d'utilisation des données pour caractériser les pressions anthropiques.

Abstract

To answer the main objective of the European Water Framework Directive (WFD) : the « good ecological status » of water bodies, a project of aquatic ecosystem regionalization was initiated. The determination of hydro-ecoregions (HER), which constitute the adopted frame for water bodies typology, required the implementation of a dedicated geographical information system (GIS). This article presents the GIS creation, the analysis of geographical informations to delimit the HER and an example of data use to characterize the anthropic pressures.

Bibliographie

BONNEFOY, D. ; CHANTRAINE, J. ; LEBRET, P. ; RABU, D., 1996, *Carte géologique de la France à 1/1.000.000 numérique. Guide d'utilisation,* rapport BRGM, R39145, 33 p.

BRGM, *Carte géologique au 1/1.000.000*^e^, 6e édition, 1996.

BRGM, *Notice de la carte géologique au 1/1.500.000*^e^, édition de 1980.

BRGM, *Cartes géologiques au 1/250.000*^ème^ (Valence, Nice, Annecy, Marseille, Gap, Dijon, Paris, Chalons sur Saône, Thonon-les-Bains, Corse).

BRGM, *Cartes géologiques diverses.*

DUPIAS, G. ; REY, P., 1985, *Document pour un zonage des régions phyto-écologiques,* CNRS, 39 p. + cartes.

MARGAT, J. (ed), 1970, *Atlas des eaux souterraines de la France*, BRGM, DATAR, Éditions du BRGM, Orléans, non paginé.

LAMOUROUX, N. ; CAPRA, H., 2002, Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations, *Freshwater Biology*, 47 (8), p. 1543-1556.

PEREZ-CORREA MACARENA, 2004, *Développement d'une méthode de cartographie de l'occupation du sol le long des cours d'eau à partir de données de télédétection*, rapport de mastère SILAT.

ROGERS, C.-F.; WASSON, J.-G., 1997, *Cadrage géographique de la structure et de la dynamique du physique des hydrosystèmes du bassin Rhodanien Français : L'approche hydro-écorégions*, rapport GIP hydrosystèmes : Zone Atelier bassin du Rhône, 03/97, Université de Saint-Etienne, CRENAM/CNRS, UMR 5600, Cemagref Lyon BEA/LHQ.

SOUCHON, Y. ; ANDRIAMAHEFA, H. ; COHEN, P. ; BREIL, P. ; PELLA, H. ; LAMOUROUX, N. ; MALAVOI, J.-R. ; WASSON, J.-G., 2000, Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire, Agence de l'eau Loire Bretagne, Cemagref Bely/LHQ, *in Ecological method.,* 1978, Southwood, TRE, London, Chapman and Hall, p. 291.

WASSON, J.-G. ; CHANDESRIS, A. ; PELLA, H., 2002, Définition des hydro-écorégions de France métropolitaine. Approche régionale de typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés, rapport Cemagref Lyon BEA/LHQ et MATE/DE, 190 p.

WASSON, J.-G. ; CHANDESRIS, A. ; PELLA, H. ; BLANC, L., 2004, Typologie des eaux courantes pour la Directive cadre européenne sur l'eau : l'approche par hydro-écorégion, *Ingénieries-EAT*, n° 40, p.3-10.